

1. 案件名

国名：インドネシア共和国

案件名：

和名（科学技術）統合バイオリファイナリー研究拠点構築プロジェクト

英名 Project on “Innovative Bio-production in Indonesia (iBioI): Integrated Bio-refinery Strategy to Promote Biomass Utilization using Super-microbes for Fuels and Chemicals Production”

2. 事業の背景と必要性

(1) 当該国におけるエネルギーセクターの現状と課題

インドネシア共和国（以下、「同国」）は、世界第4位の人口2億4千万人を有している¹。石油やガスをはじめとしたエネルギー資源や動植物性油脂、天然ゴムといった豊富な天然資源も有している。同国の経済成長率はこれら豊富な天然資源を背景に2010年に6.1%、2011年には6.4%となっており、目覚ましい経済成長を遂げている。同国政府は、更なる経済成長を維持するため、経済インフラの整備を進めており、その中でも電力エネルギーの安定的な供給体制の整備、エネルギー源の多様化、電化率の向上を政策として掲げている。

特に、同国のエネルギー供給は、石油に大きく依存しており、2011年のデータでは、同国のエネルギー消費量1,176BOE²のうち、46.7%が石油となっている³。しかし、このような石油エネルギーに偏重したエネルギー供給体制では、石油価格の高騰等により国家財政、産業活動に大きな影響を与え、同国の国民生活にも大きな不安定要素となり得る可能性を有している。

かかる背景から、同国では石油に依存しないエネルギー源の多様化が課題となっており、併せて近年の地球温暖化をはじめとした環境問題の高まりから、低炭素エネルギー社会への転換が求められている。こうした課題への対応のため、低炭素社会の実現に資する研究の実施が求められている。

(2) 当該国におけるエネルギーセクターの開発政策と本事業の位置づけ

同国政府は、かかるエネルギー事情を改善し、石油依存度を低減するため、2006年1月に「国家エネルギー政策に関する大統領令2006年5号」を策定した。

¹ 出所：世界銀行データ、2011年。

² BOE：石油換算トン（barrel of oil equivalentの略語）。BOEとは、エネルギーの単位で1トンの原油を燃焼させたときに得られる約5.7～6.1ギガジュールのエネルギーを1ユニットとしたものである。

³ 出所：同国エネルギー鉱物資源省提供資料。その他のエネルギー源に関しては、天然ガス24.2%、石炭23.9%、再生可能エネルギー5.0%となっている。

その中で、2025年を目標年として、石油消費を2006年比で20%削減を目指す一方、石油代替エネルギーとして天然ガスとバイオ燃料の利用を30%増加、そして再生可能エネルギーを15%増加させることを目指すこととしている。その後、同大統領令に関連し「代替エネルギーとしてのバイオ燃料の供給と利用に関する大統領令2006年第1号」を策定し、バイオ燃料の利活用の拡大を図ることとしている。

2010年に公表された同国のバイオ燃料に係る国家開発目標の中で、バイオ燃料産業を育成し、①350万人の雇用創出、②農民の収入増加、を目的にバイオ燃料の栽培地を約220万ヘクタールまで拡大することを目指している。

同国は、特にオイルパーム、サトウキビなどのプランテーション生産を通じ、豊富なバイオマス資源を有しており、生産量は年々増加傾向にあり⁴、同生産を通じて年間5000万トン以上の非可食性バイオマスが発生しているものの、そのほとんどが廃棄処分されている。本研究協力では、これら非可食性のバイオマス資源を有効活用し、バイオ燃料やバイオ化学製品等の生産技術の確立、すなわち限りある石油資源に依存したオイルリファイナリーに代わるバイオリファイナリーを構築することを目的としている。また、研究を通じて、同国にプランテーション廃棄物として豊富に存在する複数のセルロース系バイオマスを用い、多様な生物資源を活用しつつ、エタノール、乳酸などの有用製品を創出する技術の確立を目指している。そして将来的に同国においてこのバイオリファイナリー技術を普及させることにより新産業を創出し、低炭素循環型社会を実現することが期待されている。以上から、本事業は同国の上記開発政策と合致するものである。

(3) エネルギーセクター（温室効果ガス排出抑制）に対する我が国及び JICA の援助方針と実績

我が国は「対インドネシア共和国国別援助方針」の中で同国援助の重点分野として、「アジア地域及び国際社会の課題への対応能力向上のための支援」を開発課題として掲げ、温室効果ガスの排出抑制に向けた制度作りと気候変動に伴う負の影響の低減を目指し、高効率エネルギー・省エネルギー・代替エネルギーの促進等に係る協力を実施している。また、対インドネシア JICA 国別分析ペーパーでは「地球環境負荷の軽減」を重点開発課題と位置づけており、本研究協力はこれら方針、分析に合致する。

なお、本研究協力に関連する個別協力として、「デマンド・サイド・マネジメ

⁴ 同国農業省（Ministry of Agriculture）のデータによると、2009年のオイルパーム、サトウキビの生産規模は以下のとおりとなっている。

オイルパーム：プランテーション規模：7,321,897ha、生産量：19,440,291トン。

サトウキビ：プランテーション規模：422,953ha、生産量：3,159,836トン。

ント実施促進調査（開発計画調査型技術協力）」（2010-2011年）、「クリーンコールテクノロジー導入促進プロジェクト（開発計画調査型技術協力）」（2011-2012年）、「コベネフィット型低炭素社会構築支援調査（環境省技術協力）」（2011年）、「ルムットバライ地熱発電所建設事業（有償資金協力）」（2011年）等が実施されている。

(4)他の援助機関の対応

韓国国際協力団（以下、「KOICA」）が2010年から2012年にかけて、リグノセルロース系エタノールの精製技術の支援を目的に、実証プラント建設を支援している。

3. 事業概要

(1)事業目的

本事業では、インドネシア国の石油に依存しないエネルギー源の多様化という政策の下、大量に廃棄される非可食性バイオマスに関し、前処理手順の確立、微生物による発酵のためのリグノセルロース分解酵素の抽出・評価、バイオ化学物質・燃料を生産する分離技術で開発された微生物の生産、分離した化学物質からのバイオベースポリマーの合成に係る研究開発を行い、併せてバイオリファイナリー技術のフィージビリティ調査を通じて統合的バイオリファイナリーの構築に係る技術の実証を図り、もって同国におけるバイオリファイナリー技術の普及による新産業の創出、低炭素循環型社会の実現に資するものである。

(2)プロジェクトサイト／対象地域名

インドネシア科学院（Indonesian Institute of Science：以下、「LIPI」）、同国チビノン市

(3)本事業の受益者（ターゲットグループ）

LIPIの研究者41名、及びインドネシア大学（University of Indonesia）の研究者3名。

(4)事業スケジュール（協力期間）

2013年5月～2018年3月（5年間）

(5)総事業費（日本側）

約3億円（概算額）

(6) 相手国側実施機関

責任機関： LIPI

実施機関： LIPI (傘下の関連研究センター)

- ・ 生物工学研究センター (Research Center for Biotechnology)
- ・ 化学研究センター (Research Center for Chemistry)
- ・ バイオマテリアル研究開発ユニット
(Research and Development Unit for Biomaterial)

協力機関： インドネシア大学

(7) 投入(インプット)

- 1) 日本側(研究代表機関： 国立大学法人神戸大学大学院工学研究科、
協力機関： 国立大学法人長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科)

- a) 専門家： 総括 1名
短期専門家 15名程度
長期専門家 1名(業務調整)

- b) 本邦研修：
(1～4年目) 4名程度 × 4年間(5日間)
2名程度 × 4年間(60日間)
(5年目) 4名程度(5日間)
2名程度(30日間)
10名程度(4日間)

- c) 機材：
GC-MS、UV-VIS spectrophotometer、Microplate reader、DNA Sequencer 等

- d) 在外事業強化費

2) インドネシア側

- a) 人材
- ・ プロジェクトディレクター (LIPI 前副院長)
 - ・ プロジェクトマネージャー (LIPI 生物工学研究センターリーダー)
 - ・ 各研究担当
 - ・ 研究調整員

b) 施設

- ・ 日本人専門家のための事務所スペースと業務に必要な設備
- ・ JICA 供与機材用スペース

c) ローカルコストと管理費

- ・ 人件費及び諸手当

- ・施設・設備・機材の維持管理費
- ・その他運営管理費

(8) 環境社会配慮・貧困削減・社会開発

1) 環境に対する影響/用地取得・住民移転

①カテゴリ分類(A,B,Cを記載):C

②カテゴリ分類の根拠:

本事業は、「国際協力機構環境社会配慮ガイドライン」(2010年4月制定)に掲げる影響を及ぼしやすいセクター・特性及び影響を受けやすい地域には該当せず、不可逆の影響は少ないと判断される。なお、本研究協力は、非可食性のバイオマスの利活用を目的としており、環境社会面で負のインパクトが生じることは予見されない。

2) ジェンダー平等推進/平和構築・貧困削減

特になし。

(9) 関連する援助活動

1) 我が国の援助活動

LIPi に対し、国際科学技術協力「生命科学研究及びバイオテクノロジー促進のための国際標準の微生物資源センターの構築プロジェクト」を2011年4月～2016年4月までの5年間に渡り実施中である。本研究協力では微生物を用いたバイオマスの発酵技術に関し、同プロジェクトが開発する微生物カルチャーコレクション・データベースの情報を活用する等、同プロジェクトとの連携を予定している。

2) 他ドナー等の援助活動

上述のとおり、KOICA が LIPi に対し、2010年から2012年にかけて、リグノセルロース系エタノールの精製技術の支援を目的に、実証プラント建設を支援している。計画予算規模は約300万米ドル。なお、KOICAの事業は、施設の建設、研究機材の供与のみであり、専門家派遣は含まれておらず、また支援内容も本研究計画とは重複していない。

4. 協力の枠組み

(1) 協力概要

1) プロジェクト目標:

インドネシア国において統合バイオリファイナリファイナリーの構築に係るバイオ生産技術が実証される。

指標：

- ・革新的なバイオ生産技術が確立される。
- ・LIPI とインドネシア、日本の民間企業との研究協力関係が構築される。
(年報、活動報告書により確認)

3) 成果及び活動

成果 1：(活動主体：LIPI、神戸大学)

オイルパーム (OP) とサトウキビ産業からの廃棄物性のリグノセルロース系バイオマスの前処理手順が確立される。

指標・目標値：

- 1-1 副産物生産を抑制し水熱前処理 (または他の方法) による OP 空果房 (Empty Fruit Bunches: EFB) とサトウキビバガス前処理条件の確立。

活動：

- 1-1 研究所スケールでリグノセルロース材の前処理方法を開発する。
 - 1-1-1 機械的処理を行ったリグノセルロース材 (OP EFB とサトウキビ・バガス) を準備する。
 - 1-1-2 水熱 (LHW) の前処理を解析する。
 - 1-1-3 マイクロ波の前処理を解析する。
- 1-2 パイロットスケールで前処理プロトコルを確立する (cap. ± 10 kg/day)。

成果 2：(活動主体：LIPI、神戸大学、長崎大学)

微生物による発酵のためのリグノセルロース分解酵素が抽出され、評価される。

指標・目標値：

- 2-1 特定酵素を用いた OP EFB とサトウキビバガス分解の最適化。詳細には、バイオマス分解を含めたセルロースとヘミセルロースの数、種類が確認される。
- 2-2 真菌 (または放線菌) によるタンパク質生成システムが確立され、タンパク質生成 (1g/L) *が設定される。

活動：

- 2-1 リグノセルロース加水分解酵素を生成する。
 - 2-1-1 インドネシア・カルチャー・コレクション (InaCC) からセルラーゼおよびヘミセルラーゼ微生物を生成する微生物をスクリーニング

し最適化する。

- 2-1-2 InaCC からセルラーゼおよびヘミセルラーゼ遺伝子をクローン化する。
- 2-1-3 酵素生産の発現システムを構築する。
- 2-1-4 組み換え酵素を精製し、特定化する。
- 2-2 リグノセルロース加水分解酵素を評価する。
 - 2-2-1 生産された酵素によりリグノセルロースを分解する。

成果 3 : (活動主体 : LIPI、インドネシア大学、神戸大学)

バイオ・化学物質 (乳酸) とバイオ燃料 (エタノール) を生産する分離技術で開発された微生物が繁殖し、高度発酵する。

指標・目標値 :

- 3-1 前処理 OP EFB (またはサトウキビ・バガス) と酵素利用の組み合わせによる、探索酵母株の増殖評価。
- 3-2 InaCC 株からキシロース資化能力を持つ細胞表層提示 (アーミング) 酵母株を確立。
- 3-3 乳酸とエタノールの生産レベルが両方のケースにおいて 50g/L*になる
- 3-4 効率的な分離技術の確立。

活動 :

- 3-1 キシロース代謝が可能となるサッカロマイセス・セレビシエ (*Saccharomyces cerevisiae*) を分離し、組換え微生物の確立 (エタノールと乳酸生産が候補)。
 - 3-1-1 化学的阻害剤の存在下で InaCC からキシロース代謝 (エタノールと乳酸生産を対象) が可能となるサッカロマイセス・セレビシエ株をスクリーニングし、評価する。
 - 3-1-2 InaCC からの宿主候補微生物のゲノムの配列を決定する。
 - 3-1-3 発酵プロセスと化学製品生産のためのアーミング技術により組み換え微生物を生成する。
- 3-2 バイオエタノールとバイオケミカルを生産するための OP EFB とバガスの発酵を開始する。
 - 3-2-1 バイオマス原料を用いて InaCC から酵母菌株をスクリーニングするため発酵をする。
 - 3-2-2 バイオマス原料を使って組み換え型酵母菌株をスクリーニングするために発酵する (3. 1. 1 参照)。
 - 3-2-3 バイオマス原料の発酵を最適化する (中小規模のスケール)。
 - 3-2-4 中規模スケール (10L) でのバッチ方法における発酵プロセスを設

計する。

3-3 効果的な分離技術を構築する。

3-3-1 発酵した培養液からバイオエタノールの分離技術を開発する。

3-3-2 液液抽出によって培養基からの乳酸分離を開発する。

3-3-3 リグノセルロース分解の後処理プロセスと発酵プロセスを行う。

成果 4：(活動主体：LIPi、神戸大学)

分離した化学物質からバイオベースポリマーを合成できる。

指標・目標値：

4-1 ポリ乳酸 (PLA) の純度・強度を改善するための製造方法の確立。

4-2 PLA をベースとしたバイオ・ナノ複合物と熱可塑性ポリマーをベースとした代替石油へのセルロース・ナノファイバーの生産。

4-3 低ホルムアルデヒド排出木接着剤化のためのリグニンの利用。

活動：

4-1 培養基から化学触媒作用によって PLA を合成し、解析する。

4-1-1 乳酸を重合する。

4-1-2 乳酸を共重合する。

4-2 ポリマーベースのバイオケミカルを評価する。

4-2-1 PLA の化学的修正と物理的変更の実施。

4-2-2 フィルムを準備する：押し出し、射出成形、インフレーションフィルム/吹き込み成形、溶液流延法。

4-2-3 PLA の機械処理、熱処理を行う。

4-2-4 生物分解性テストの実施：pH、湿気、温度、塩分、酸素の有無、PLA の分子量の影響。

4-3 PLA とセルロース・ナノファイバーをベースとしたバイオ・ナノ複合物。

4-3-1 OP EFB とサトウキビ・バガス・バイオエタノール生産のバイオ残渣から分離されたセルロース・ナノファイバー。

4-3-2 PLA とセルロース・ナノファイバーをベースとしたバイオ・ナノ複合物の生産。

4-3-3 バイオ・ナノ複合物の熱的、機械的性質を評価する。

4-3-4 バイオ・ナノ複合物の性質を強化し、最適化する。

4-3-5 バイオ・ナノ複合物の生産物を拡大する。

4-4 低ホルムアルデヒド排出木接着剤化のためリグニン留分を利用して、適用する。

4-4-1 リグノセルロースからリグニンを分離し、精製する。

4-4-2 前処理から生じた可溶性画分からリグニンを抽出し、精製する。

4-4-3 繊維ベースの複合物の生産のために、木接着剤を適用する。

成果 5：(活動主体：LIPi、神戸大学)

フィージビリティ調査と統合バイオリファイナリープロセスが促進される。

指標・目標値：

5-1 バイオ燃料（またはバイオ化学品）生産のための日本とインドネシアの会社間のマッチング会議の実施。

活動：

5-1 インドネシアにおいて統合的バイオリファイナリー技術のフィージビリティ調査を実施する。

5-1-1 インドネシアにおけるバイオリファイナリー研究活動に関連する情報を収集する。

5-1-2 統合的バイオリファイナリーの経済的、環境的、社会的インパクトを分析する。

5-2 インドネシアと日本において化学工業界に対してバイオリファイナリーの基盤を推進する：国際的なシンポジウムでのインドネシアと日本の企業間の会議の研究者育成支援。

5-2-1 バイオリファイナリーの概念の推進。

5-2-2 国際的なシンポジウムでのインドネシアと日本の企業間の会議を実施する。

*下線を付した指標は中間レビューまでに達成されることとする。

4)プロジェクト実施上の留意点

本研究協力においては、ラボでの活動がメインとなることから、通常同国において野外調査等を伴う調査研究活動を行うために必要な research permit を入手することは想定していない。ただし、仮に微生物収集等の目的で野外活動を行うことが必要な場合は、必ず C/P に同行を求め、日本側研究者は自らサンプリング等の活動を行うことのないよう、同国の関連法令等を遵守する必要がある。

(2)その他インパクト

同国で実証されたモデルは、将来的には近隣のタイ、マレーシアなど豊富にバイオマス資源を有する東南アジア諸国にも技術展開を図れるポテンシャルを有する。また、本研究協力を通じてバイオマス分野での日本-インドネシア企業

との連携が促進されることが期待される。

5. 前提条件・外部条件（リスク・コントロール）

(1) 事業実施のための前提

- ・先方政府投入が適切に実施される
- ・先方 C/P が転職しない。

(2) 成果達成のための外部条件

- ・プロジェクト協力機関の適切な協力が得られる。
- ・前述の「生命科学研究及びバイオテクノロジー促進のための国際標準の微生物資源センターの構築プロジェクト」において、本研究協力で必要とする機能を有する微生物が単離、保存されている。

(3) プロジェクト目標達成に係るリスク要因

本研究協力が目標とする統合バイオリファイナリー技術を実現するためには、前処理、糖化、発酵、分離、化学合成の各プロセスを連携して一つにまとめることが求められ、下流プロセスの開発においては上流プロセスの研究結果に基づくことが多い。この連携が不十分であると、最終的に各成果を「統合」することが困難となるため、日本とインドネシアの各プロセスの研究者間での綿密な研究情報交換やコミュニケーションを円滑に進めるためのシステムを構築していくことが必要である。

6. 評価結果

本事業は、同国の開発政策、開発ニーズ、日本の援助政策と十分に合致しており、また計画の適切性が認められることから、実施の意義は高い。

7. 過去の類似案件の教訓と本事業への活用

非可食性バイオマスを原料とするバイオ燃料等への高度活用に関し、「国際科学技術協力」ではブラジル国において「サトウキビ廃棄物からのエタノール生産研究」を2009年9月～2013年8月の4年間に渡り実施中であるため、同研究から得られた教訓等を本研究協力への活用することとする。

8. 今後の評価計画

(1) 今後の評価に用いる主な指標

4. (1)のとおり。

(2) 今後の評価計画

・事業中間時点 中間レビュー

・事業終了6ヶ月前 終了時評価

以 上